УДК 528.9:681.3.06

А.Н. Крючков, С.В. Абламейко, Г.П. Апарин, Л.Н. Соболь
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск
lab210@newman.bas-net.by, abl@newman.bas-net.by, aparin@newman.bas-net.by

Методы оперативного анализа состояния местности на основе моделей цифровых карт и аэро-космоснимков

В статье представлены и описаны методы оперативного анализа состояния местности на основе моделей цифровых карт и аэро-космоснимков. Рассматриваются три метода: пространственного анализа рельефа местности, совместной обработки данных дистанционного зондирования Земли и моделей цифровых карт местности, моделирования динамики состояния местности. Описываются программно-информационные средства, реализующие эти методы. Приводятся примеры использования.

Введение

Геоинформационные технологии являются эффективным инструментом для создания систем контроля и прогнозирования динамики состояния местности в чрезвычайных ситуациях (ЧС) природного и техногенного характера (пожары, наводнения, эпидемии, аварии на химических предприятиях и т.д.) [1]. Основу таких систем составляют средства оперативного анализа состояния местности для задач принятия решений в ЧС с использованием моделей цифровых карт местности (ЦКМ) и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Важнейшим качеством данных, используемых в системах принятия решений в ЧС, являются их актуальность, полнота, объективность и быстрота привязки к местности. Данные ДЗЗ позволяют получать наиболее актуальную и оперативную информацию на интересующую территорию, что особенно важно для проведения ситуационного анализа в целях выработки эффективного решения. ЦКМ являются источником статичной информации (рельеф, дорожная сеть, гидрография, населенные пункты, границы), что обеспечивает возможность пространственного моделирования и анализа на реальной местности с последующей визуализацией географических и ситуационных данных на основе 2D и 3D графики [2].

Целью данной статьи является рассмотрение разработанных методов оперативного анализа состояния местности на основе моделей ЦКМ и цифровых аэрокосмоснимков (ЦС).

Метод пространственного анализа рельефа местности

Метод реализуется путем выполнения задач: построения профилей рельефа, зон видимости, расчета уклонов и объемов выемок, построения трехмерных моделей местности, расчета высот точек на местности, вычисление расстояний с учетом рельефа и др. Все эти задачи решаются с использованием цифровых моделей рельефа (ЦМР), которые формируются на территорию любой конфигурации, размера и с любым шагом дискретизации.

Территория, на которой планируется решение задач оперативного анализа состояния местности и моделирования ее динамики, может иметь произвольную конфигурацию и площадь и покрываться произвольным числом карт одного или разного масштабов. Всё многообразие отечественных карт имеет строгую математическую разграфку, что позволяет по имени (номенклатуре) карты однозначно определять ее местоположение на земной поверхности и масштаб [3-5]. В связи с этим для решения задач, требующих данных, принадлежащих различным цифровым моделям, необходимо на этапе подготовки базы цифровых картографических данных сформировать из различных моделей ЦКМ единую цифровую модель местности. Сформированную из нескольких исходных ЦКМ результирующую цифровую модель будем называть позиционным районом. Формирование произвольного района ЦКМ осуществляется с помощью операций сшивки и нарезки цифровой картографической информации. Этот метод также обеспечивает операции отбора объектов и формирование цифровой модели заданного объектового состава, что позволяет, удалив второстепенные объекты для конкретной задачи, повысить читаемость электронной карты.

Формирование цифровой модели позиционного района проводится в два этапа.

На первом этапе выполняются подготовительные операции по привязке исходных цифровых моделей и позиционного района к земной поверхности, пересчет координат рамок цифровых моделей в единую систему координат, определения в этой системе координат границ сшивки и их параметров, по которым будут сшиваться объекты смежных цифровых моделей. На втором этапе объекты исходных цифровых моделей пересчитываются в систему координат позиционного района, определяются объекты, подлежащие сшивке, и производится физическое объединение объектов, удовлетворяющих метрическим и семантическим параметрам сшивки.

Первый этап включает в себя следующие основные операции:

– определение по номенклатуре цифровой модели вида карты, масштаба, осевого меридиана зоны Гаусса – Крюгера и координаты углов рамок и точек излома в геодезической системе координат;

– формирование осевого меридиана позиционного района по осевым меридианам зон Гаусса – Крюгера исходных цифровых моделей;

– пересчет координат точки из геодезической системы в систему координат Гаусса – Крюгера;

– определение элементов ориентирования цифровой модели относительно начала системы координат шестиградусной зоны Гаусса – Крюгера;

– формирование рамки позиционного района по координатам рамок исходных цифровых моделей;

– определение границ сшивок и их параметров, по которым будут сшиваться объекты смежных цифровых моделей;

– пересчет координат точки из прямоугольных координат Гаусса – Крюгера к геодезическим координатам:

– пересчет координат точки из системы координат Гаусса – Крюгера в систему координат цифровой модели;

– пересчет координат точки из системы координат цифровой модели в систему координат Гаусса – Крюгера.

Второй этап включает в себя следующие основные операции:

– пересчет координат точки из системы координат исходной цифровой модели в цифровую модель позиционного района;

– определение объектов, выходящих на границы сшивки;

– размыкание площадных граничных объектов вдоль границ сшивки;

– формирование таблицы граничных точек линейных и площадных объектов, выходящих на границы сшивки;

– сортировка точек в таблице граничных точек по принадлежности их к классам объектов, границам сшивки и расстоянию вдоль границ сшивки;

– определения парных точек в таблице граничных точек по расстоянию и семантическим признакам объектов;

– установление цепочки объектов, образующих результирующий объект;

– формирование результирующего объекта из набора исходных с корректировкой пространственно-логических отношений.

Сшивка ЦКМ выполняется в следующих режимах:

– стандартная сшивка ЦКМ;

– визуализированная сшивка;

– сшивка с дополнением;

– сшивка со вставкой.

В качестве исходной информации при стандартной сшивке ЦКМ используются цифровые топографические, обзорно-географические карты и планы городов. При визуализированной сшивке ЦКМ используется произвольный набор смежных ЦКМ. При этом на экран выводятся рамки ЦКМ и оператор в диалоговом режиме осуществляет компоновку позиционного района в требуемой конфигурации. Этот режим используется, если исходные ЦКМ не являются полными номенклатурными листами вышеперечисленных карт и не содержат информации о привязке к земной поверхности в геодезической системе координат или в системе координат проекции карты.

Сшивка с дополнением применяется, когда требуется к уже сформированному району, созданному из номенклатурных листов ЦКМ, добавить набор смежных номенклатурных листов ЦКМ. Сшивку со вставкой используют, когда в исходную ЦКМ необходимо вставить информацию из другой ЦКМ, имеющую другой масштаб или другую полноту информации. Технологически сшивка со вставкой производится следующим образом. Сначала процедурой нарезки вырезается информация из позиционного района, соответствующая модифицируемой территории, а затем осуществляется вставка требуемого номенклатурного листа.

Сформированный позиционный район, как правило, содержит избыточную информацию, лежащую вне того или иного интересуемого участка (маршрута). Для удаления избыточной информации, лежащей вне области интереса пользователя, используется операция нарезки цифровой модели позиционного района требуемого фрагмента изображения.

Формирование цифровой модели методом нарезки включает в себя следующие основные операции:

– формирование полигона, ограничивающего интересующую пользователя территорию;

– пересчет координат сформированного полигона из исходной системы, в качестве которой может выступать как геодезическая система координат и система координат Гаусса – Крюгера, так и система координат экрана, в систему координат позиционного района;

– определение элементов ориентирования входной и выходной цифровых моделей;

– определение параметров границ разграфки, по которым будут формироваться объекты цифровой модели позиционного района;

– определение попадания точки в замкнутый полигон;

– разбиение линейного или площадного объекта на ряд объектов, попадающих в анализируемый полигон;

– формирование площадного объекта путем замыкания внутренних границ объекта (внутренних контуров объекта), замыкания контуров по рамке и слияние отдельных частей контура.

Процедура нарезки цифровой картографической информации выполняется в следующих режимах: стандартная нарезка ЦКМ, нарезка ЦКМ с вычитанием.

При стандартной нарезке из исходной ЦКМ выделяется информация, покрывающая территорию, границы которой задаются оператором в диалоговом режиме, и выделенная информация записывается в результирующую ЦКМ. При нарезке ЦКМ с вычитанием из исходной ЦКМ удаляется информация, покрывающая территорию, границы которой задаются оператором в диалоговом режиме.

Реализация всех вышеперечисленных задач выполняется с использованием объектно-ориентированных цифровых моделей местности, цифровых моделей матриц рельефа, графовых моделей дорожной сети, моделей графического воспроизведения 2D и 3D картографических изображений и моделей пространственно-логических отношений объектов на местности.

Построение трехмерных моделей местности осуществляется с использованием графического стандарта OpenGL. Трехмерное отображение моделей местности включает в себя: собственно трехмерное изображение моделей местности в цветовой палитре, соответствующей высоте точек в узлах матрицы высот рельефа; регулярную сетку и шкалу с заданным шагом, кратным шагу матрицы; подставку для трехмерного изображения моделей местности и текстуру на основе картографической графики и цифровых снимков.

Технология создания 3D-модели местности состоит из следующих этапов:

1. Обработка справочной информации матрицы высот рельефа и получение исходной информации, необходимой для создания 3D-модели рельефа:

– размерность матрицы (количество строк и столбцов);

– минимальное и максимальное значения высот в матрице;

– шаг дискретизации матрицы.

2. Формирование массива RGB цветов для каждой вершины. Значение цвета определяется значением высоты.

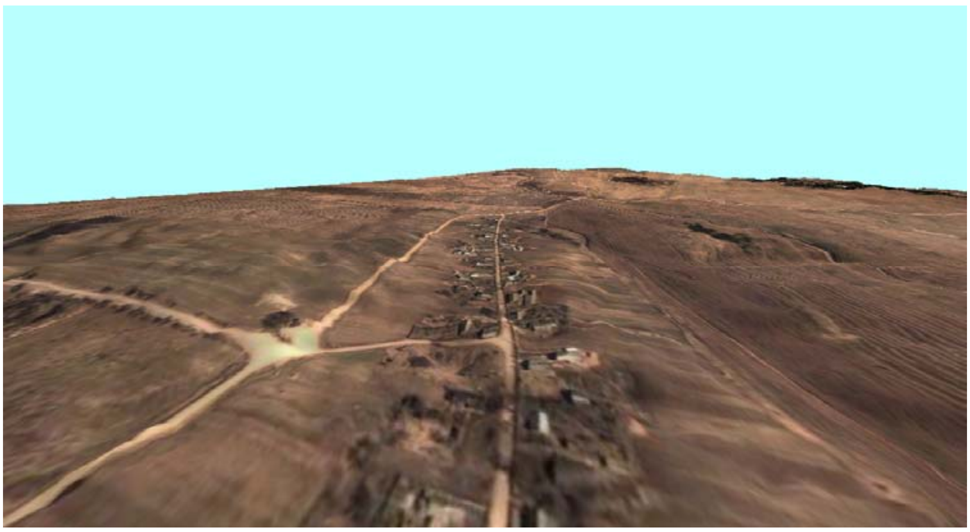


Рисунок 1 – Трехмерная модель местности

3. Формирование массива нормалей для каждой вершины, которые затем используются для создания освещенности.

4. Создание каркаса рельефа на основе примитива OpenGL «связанные треугольники». Вершинами треугольников являются элементы матрицы. Для создания сплошной поверхности, для каждой вершины ставится в соответствие цвет из массива цветов и вектор нормали из массива нормалей.

5. Для повышения реалистичности изображения производится линейное наложение текстуры на сформированную поверхность. Для этого используются исходные спутниковые снимки. Фрагмент трехмерного изображения матрицы высот с использованием освещения и с наложением текстуры представлен на рис. 1.

Метод совместной обработки данных ДЗЗ и ЦКМ

Метод реализует традиционные операции совместной обработки данных ДЗЗ и ЦКМ с целью выделения интересуемых объектов ЧС.

Привязка снимков к ЦКМ и трансформирование изображений предназначена для решения задачи формирования математической модели пространственного преобразования изображений ЦС и ЦКМ в системы координат друг друга (рис. 2) и осуществляется с помощью методов теории центрального проектирования, проективных преобразований и полиномиальной аппроксимации, а также комбинацией данных методов.

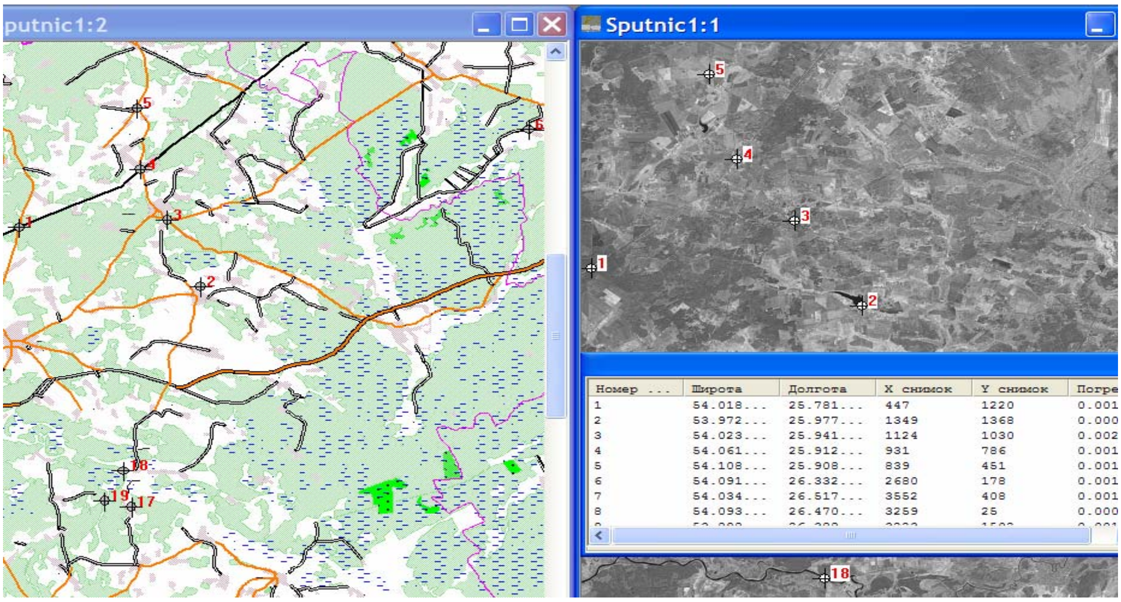


Рисунок 2 – Формирование массива опорных точек

Задача решается путем определения параметров пространственного преобразования по известным координатам опорных точек. В качестве опорных точек используются четкие контуры местности, искусственные сооружения и другие элементы местности, хорошо опознающиеся на изображениях ЦС и ЦКМ.

Привязка снимков к ЦКМ и трансформирование изображений осуществляется с помощью методов центрального проектирования, проективных преобразований и полиномиальной аппроксимации, а также комбинацией данных методов. При привязке снимка к карте осуществляется контроль привязки как визуально, так и по отклонению в опорных точках.

В разработанном программно-информационном комплексе реализованы два варианта контурного дешифрирования: интерактивный и автоматизированный, которые предназначены для оперативного поиска, обнаружения и классификации контурных объектов в процессе сопоставления и анализа совмещенных изображений снимков и карты.

Интерактивный вариант контурного дешифрирования основан на визуальном сопоставлении и анализе пользователем совмещенных на экране монитора изображений снимка и карты и использует человеко-машинные операции по выделению и формализации обнаруженных объектов (рис. 3). В процессе сопоставления пользователь имеет возможность применять различные справочные данные в виде экспертных знаний и эталонов типовых изображений местности на снимках, извлекаемые из соответствующих баз данных с помощью системы «меню» и графических элементов управления пользовательского интерфейса, производить с помощью специальных функций различные измерения количественных характеристик дешифрируемых объектов. Выделенные в процессе дешифрирования данные на снимке формализуются и представляются в виде атрибутов конкретных объектов или их изменений. В зависимости от целей дешифрирования эти данные могут использоваться для обновления оперативной обстановки, отображаемой на картах, или представляться в виде документов табличного вида (формуляров), или в виде графических (цифровых) отчетных документов по результатам дешифрирования.



Рисунок 3 – Интерактивное дешифрирование снимков:
линейные и площадные объекты

Автоматизированный вариант дешифрирования используется с целью повышения уровня автоматизации процессов поиска, обнаружения и классификации образов контурных объектов на снимках с помощью карт. Этот вариант базируется на методах цифровой обработки изображений, машинного сопоставления и анализа сегментированных изображений снимков и эталонов, в качестве которых используются контурные объекты карт и образуемые ими пространственно-логические связи в виде типовых сцен.

Реализация перечисленных выше методов основана на растровых моделях снимков, цифровой модели рельефа, векторных моделях ЦКМ, ситуационных данных, семантических структурах (моделях) пространственно-логических отношений объектов снимка и ЦКМ. Возможность оперативной классификации объектов местности по снимкам особо важны для анализа ЧС, когда требуется быстрая численная оценка масштаба бедствия и величины ущерба с целью принятия оптимальных решений по контролю за ситуацией.

Метод моделирования динамики состояния местности

Метод предназначен для пространственного анализа состояния местности для информационной поддержки результатов моделирования и принятия оперативных решений. Он включает задачи анализа проходимости местности; анализа дорожной сети; оптимизационные сетевые задачи определения подступов к объектам; получение информации об объектах; построение зон поражающих факторов; выделение объектов, попадающих в зону поражающих факторов.

Функции анализа поверхности являются базовыми для многих приложений при моделировании ЧС или планировании мероприятий по их ликвидации. Они используются при моделировании зон затопления, планировании размещения различных объектов специального назначения, маршрутного перемещения спасательных средств и т.д.

Профиль поперечного сечения – это изображение разреза местности вертикальной плоскостью по заданному направлению. Направление на карте, вдоль которого строится профиль, называется профильной линией. Если направление на карте задано последовательностью отрезков прямых, меняющих ориентацию, то в этом случае речь идет о профильной полилинии (например, вдоль дороги).

Для изучения условий наблюдения на местности используется построение профиля по заданному направлению с зонами затенения, целью которого является получение изображения рельефа вдоль заданной профильной линии и выявление непросматриваемых участков с высоты точки наблюдения [5].

Данные для расчета профиля берутся из матрицы высот рельефа.

Задача построения профиля по заданному направлению производится в следующей последовательности:

– определение направления луча;

– определение координат точек, лежащих на луче и значения высоты в указанных точках;

– изображение профиля.

Направление луча определяется прямой, построенной по координатам двух точек: точки наблюдения и конечной точки луча (в случае полилинии – это один из сегментов, принадлежащих полилинии).

Для определения высоты в точках, лежащих на луче, используется матрица высот рельефа с известной дискретизацией. Чтобы оценить высоту в точке, лежащей на луче, необходимо определить принадлежность точки узлу матрицы. Если точка лежит в узле, то значение высоты выбирается непосредственно из матрицы высот, в противном случае определение высоты производится по ближайшим узловым точкам с использованием билинейной интерполяции.

При изображении профиля на плоскости по горизонтальной оси откладываются отсчеты (расстояния) от начала исхода до текущей точки луча, а по вертикальной оси – значения абсолютных высот в указанных точках. Полученные точки соединяются линией. Построение профиля по заданному направлению с зонами затенения характеризуется тем, что, в дополнение к задаче построения профиля по заданному направлению, используется высота в точке исхода луча (высота точки наблюдения), а также дальность видимого горизонта.

Разница между профильной линией по заданному направлению и профильной линией по заданному направлению с зонами затенения состоит в изображении линии профиля. Длина основания профиля рассчитывается исходя из дальности видимого

горизонта и высоты точки наблюдения. Основанием профиля в данном случае является кривая, близкая к уровневой поверхности Земли, которая получена введением поправок за кривизну Земли и рефракцию лучей.

При изображении профильной линии с зонами затенения используется прямоугольная система координат, в которой по оси Ох откладываются отсчеты расстояний от точки наблюдения, по оси Оу откладываются отсчеты абсолютных высот рельефа с учетом поправок за кривизну Земли и рефракцию лучей. Зоны затенения на изображении выделяются штриховкой. Пример профиля с затенением представлен на рис. 4.

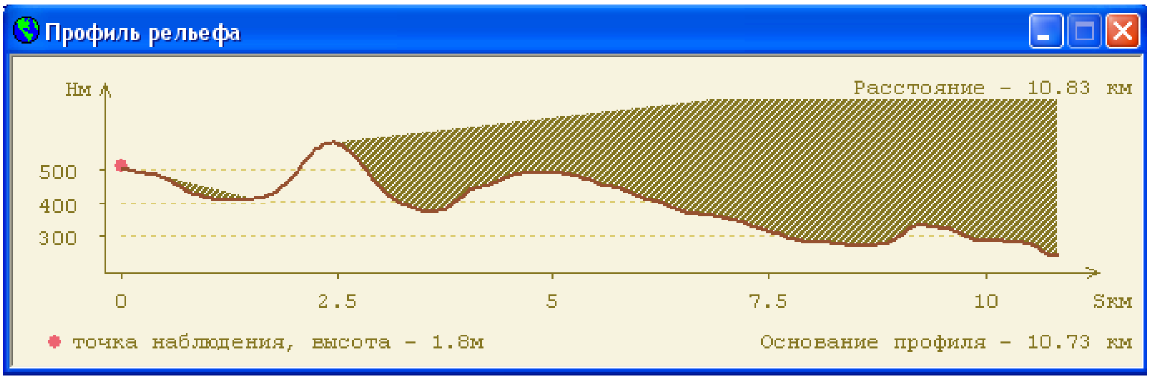


Рисунок 4 – Построение профиля поперечного сечения с затенением

Анализ видимости – операция обработки цифровых моделей рельефа, обеспечивающая оценку поверхности с точки зрения видимости или невидимости отдельных ее частей путем выделения зон и построения карт видимости с некоторой точки обзора.

В зависимости от характера задачи моделирование зон видимости осуществляется с учетом высоты точки наблюдения вокруг позиции наблюдателя (круговая зона видимости) или в заданном секторе. Расчет зон видимости может проводиться также для территории, ограниченной окружностью заданного радиуса. Для некоторых задач требуется определить поля видимости из нескольких пунктов наблюдения.

В качестве данных для расчета зон видимости служит матрица высот рельефа.

При использовании растровых данных зоны видимости определяются путем построения профилей рельефа с затенением. При построении круговой зоны видимости в качестве точки отсчета лучей, по которым строятся профили, принимается луч, исходящий из точки наблюдения и направленный вдоль положительной оси Ох. Уравнение луча из множества лучей, по которым строятся профили, определяется координатами точки наблюдения, заданным углом и порядковым номером. Угол задается таким образом, чтобы максимально сократить потери информации на границе. Построение профиля по текущему лучу заканчивается в случае, когда достигнута заданная граница (территория ограничена окружностью заданного радиуса) или луч достиг области, которая не может быть видимой из-за кривизны Земли.

Для определения зон невидимости вначале вычисляются расстояния от точки исхода луча до начала каждого участка видимости и затенения по каждому лучу, принадлежащему множеству лучей. В общем случае формирование метрики текущей зоны затенения производится следующим образом:

– по расстоянию от точки наблюдения анализируются участки невидимости на соседних лучах и определяются пересекающиеся;

– вычисляются граничные точки участков невидимости, и из них формируется метрика зоны невидимости.

Поля невидимости отображаются при визуализации карты и выделяются сеткой. Пример круговой зоны видимости представлен на рис. 5.

Определение границ и площадей затопляемой территории с выдачей перечня объектов, попадающих в зону затопления, решается с помощью матрицы высот рельефа, если уровень воды достигнет заданного значения в некоторых, заранее определенных, точках местности.

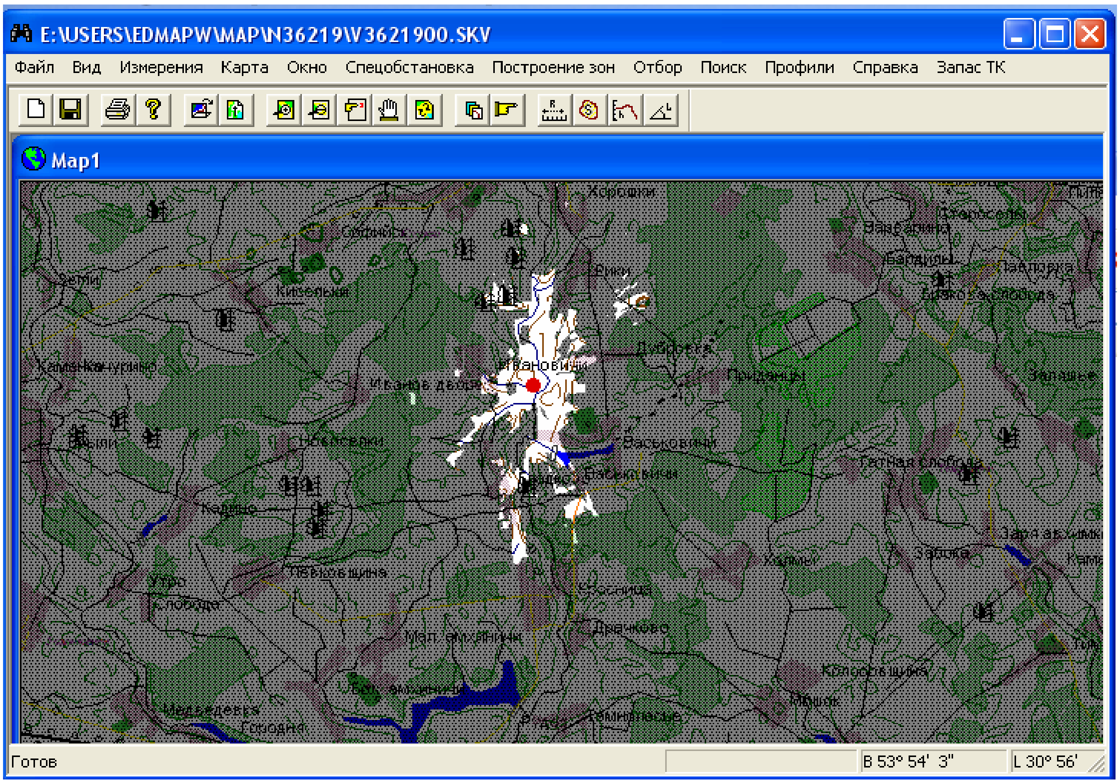


Рисунок 5 – Построение круговой зоны видимости

Зоны затопления определяются как разница водных поверхностей в нормальных условиях и во время паводка. Моделирование паводкоопасной ситуации заключается в построении пересечения поверхности рельефа с зеркалом поднявшейся воды.

Исходными данными для определения зон затоплений являются:

– матрица высот рельефа, основой которой служат объекты цифровой карты, имеющие атрибутивную характеристику «высота абсолютная» – горизонтали рельефа, отметки высот, пункты ГГС, отметки урезов воды, береговые линии озер, а также объекты, имеющие характеристику «высота относительная» – берега скалистые, берега обрывные;

– метеорологические данные, представляющие собой набор высотных отметок уровня воды, определенных по данным наблюдений на гидрологических постах. Количество гидропостов должно быть не менее двух. Метеорологические данные могут задаваться текстовым файлом или вводиться оператором в интерактивном режиме.

Прогноз зон затопления включает следующие этапы:

– моделирование поверхности рельефа на основе матрицы высот рельефа [3]. Моделирование поверхности рельефа вызвано необходимостью получения дополнительных данных по высотам для более точного представления водостока при определении границ территорий, подверженных затоплению. В качестве аппарата моделирования поверхности рельефа используется В-сплайн 3-го порядка;

– создание растрового слоя, содержащего углы наклона поверхности рельефа, для построения моделей стока воды и определения водоразделов рек;

– построение трехмерных наклонных плоскостей, приближенно описывающих зеркало поднявшейся воды;

– определение пересечения плоскостей моделью поверхности рельефа и зоны затопления в виде площадного объекта, контур которого собран из смежных отрезков, являющихся следами среза поверхности рельефа плоскостью зеркала воды.

Формирование контура зоны затопления выполняется в следующей последовательности:

1. Прямая, соединяющая координаты соседних гидропостов, разбивается на несколько отрезков. Длина отрезков соизмерима с половиной ширины четырехугольников, которые получены в результате моделирования поверхности рельефа. Из начала каждого отрезка строится луч – прямая, перпендикулярная отрезку и лежащая в плоскости зеркала воды.

2. Вычисление точек пересечения элементов поверхности модели рельефа с прямыми, лежащими в плоскости зеркала воды. Определение элементов поверхности модели рельефа производится по направлению стока воды (значения углов наклона и направления наклона поверхности содержатся в растровом слое стока воды). Кроме направления стока воды учитываются также значения высоты в узлах матрицы, представляющей модель рельефа.

3. Отслеживание контура, включающее определение начальной точки контура, присоединение точек, полученных в результате пересечения плоскости зеркала воды с моделью поверхности рельефа и замыкание контура. Чтобы исключить повторное построение контура, а также не пропустить контуры незатопленных участков внутри зоны затопления, точки создаваемого контура объекта регистрируются в отдельном растровом слое. Пример зоны затопления представлен на рис. 6.

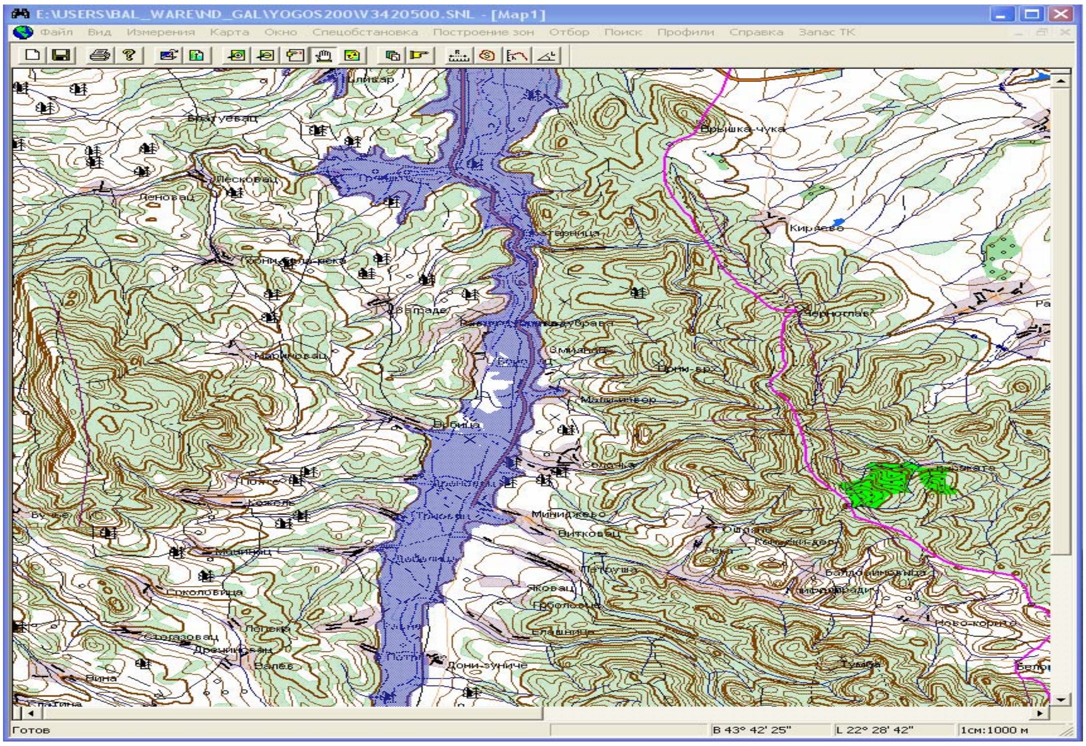


Рисунок 6 – Моделирование зоны затопления

Для определения оптимальных маршрутов транспортных средств применяется комбинированный метод анализа природных объектов местности и объектов дорожной сети. В зависимости от характеристик объектов дорожной сети (тип дороги, ширина дорожного покрытия, наличие мостов и их характеристики) строится графовая модель дорожной сети, по которой определяется оптимальный маршрут методами типа Дейкстры, Беллмана – Форда.

Еще одной группой задач являются задачи пространственного анализа местности для информационной поддержки результатов моделирования или принятия оперативных решений. Они включают оптимизационные сетевые задачи определения подступов к объектам; получение информационных справок о состоянии местности, построение буферных зон поражающих факторов, выделение объектов, попадающих в буферные зоны (рис. 7).

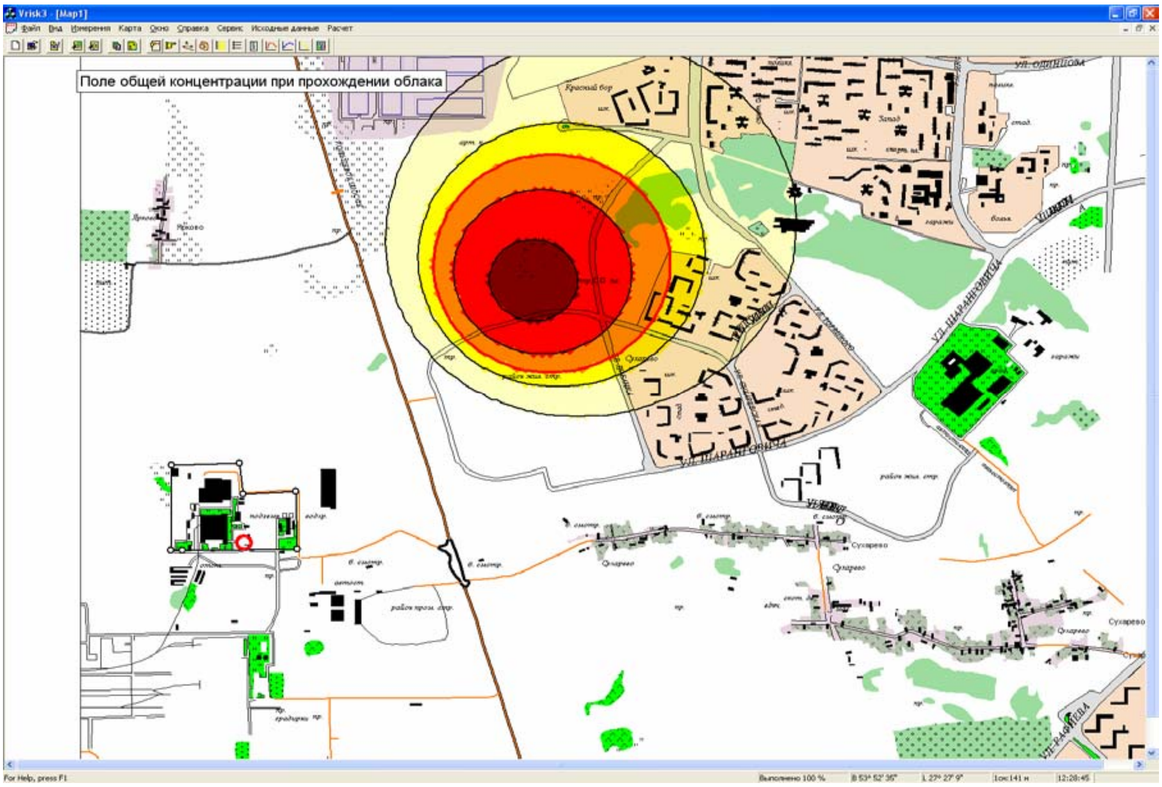


Рисунок 7 – Моделирование буферных поражающих зон

Созданный комплекс обеспечивает формирование отчетных документов по результатам дешифрирования снимков и представляет собой набор функций, обеспечивающих решение задач формирование формуляров, содержащих данные об обнаруженных объектах, в виде таблиц и формирования элементов оформления изображений снимков по результатам дешифрирования и представления их в виде графических и цифровых отчетных документов.

Выводы

В статье представлены разработанные в ОИПИ НАН Беларуси методы, модели и технологии оперативного анализа состояния местности для задач принятия решений в оперативных и чрезвычайных ситуациях на основе данных ДЗЗ и моделей ЦКМ. Создан-

ные технологии прошли опытную апробацию на ряде предприятий Беларуси. Промышленная эксплуатация разработанных методов, моделей и технологий показывает их высокую эффективность.

Литература

1. Крючков А.Н. Программно-информационный комплекс оперативного анализа свойств местности в задачах предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе данных ДЗЗ и цифровых карт / А.Н. Крючков, Л.Н. Соболь // IV междунар. научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (6-8 июня 2007 г.). – Минск : НИИ пожарной безопасности, 2007. – Т. 2. – С. 194-196.
2. Крючков А.Н. Программно-информационные средства создания и применения пространственных моделей местности на основе ГИС-технологий / А.Н. Крючков, Л.Н. Соболь, Л.А. Ушацкая, Е.А. Афонова // IV междунар. конф. «Развитие информатизации и системы научно-технической информации (РИНТИ-2008)». – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – С. 86-92.
3. Вахрамеева Л.А. Картография / Вахрамеева Л.А.. – М. : Недра, 1981.
4. Руководство по картографическим и картиздательским работам. – М. : РИО ВТС, 1978.
5. Военная топография / А.А. Псарев, А.Н. Коваленко, А.М. Куприн, Б.И. Пирнак. – М. : Воениздат, 1986.
6. Опыт прогноза зон затопления при паводках и наводнениях / А.Н. Гущин, С.В. Серебряков, В.В. Гусев, М.Е. Коршунов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.geoprofi.ru/default.aspx.

А.Н. Крючков, С.В. Абламейко, Г.П. Апарін, Л.Н. Соболь

Методи оперативного аналізу стану місцевості на основі моделей цифрових карт і аеро-космознімків

У статті представлені та описані методи оперативного аналізу стану місцевості на основі моделей цифрових карт і аеро-космознімків. Розглядаються три методи: просторового аналізу рельєфу місцевості, спільної обробки даних дистанційного зондування Землі і моделей цифрових карт місцевості, моделювання динаміки стану місцевості. Описуються програмно-інформаційні засоби, які реалізують ці методи. Наводяться приклади використання.

A.N. Kryuchkov, S.V. Ablameyko, G.P. Aparin, L.N. Sobol

Methods of Operative Analysis of Terrain State Based on Models of Digital Terrain Maps and Aero- and Space Photographs

In this paper, methods of operative analysis of terrain state based on models of digital terrain maps and aero- and space photographs are presented and described. Three main methods are considered. There are method of 3D analysis of relief terrain, method of joint processing remote sensing data and digital terrain maps, method of modelling dynamics of terrain state in the paper . Software and information complex using these methods are desribed. Examples of applications of these methods are given.

Статья поступила в редакцию 01.07.2010.